

# Perencanaan Jalur Untuk Mobile Robot Berbasis Compact Genetic Algorithm

Bima Sena Bayu Dewantara

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Jl. Raya ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya 60111

e-mail : [bima@eepis-its.edu](mailto:bima@eepis-its.edu)

## ABSTRAK

Permasalahan yang timbul pada sebuah pencarian dan pembentukan jalur optimal pada sebuah robot mobil adalah kemampuan untuk menghindari diri dari halangan, kecepatan algoritma dan jarak jalur yang dibentuk. Beberapa metode sebelumnya : novel (seperti Adaptif Path Planner, Potential Field Method, Road Map dan Dijkstra) kebanyakan hanya mampu menyelesaikan dua diantara ketiga parameter yang dipersyaratkan tersebut, yaitu kecepatan algoritma dan kemampuan menghindari tumbukan. Sedangkan Algoritma Genetika (GA) juga hanya mampu menyelesaikan dua parameter yaitu kemampuan menghindari tumbukan dan jarak terpendek, namun gagal di kecepatan algoritma sehingga sulit untuk dijadikan sebuah system online. Untuk itu perlu digunakan sebuah system baru yang lebih cepat namun tetap mampu menghindari halangan dan jarak terpendek tercapai, yaitu dengan Algoritma Genetika Kompak (cGA).

Penelitian ini akan diawali dengan simulasi sebuah area, dimana didalamnya diletakkan posisi inisial dan posisi akhir (tujuan) serta obyek lain sebagai penghalang (obstacle). Setelah area dan halangan diketahui, maka Algoritma Genetika Kompak (cGA) akan mulai membangun jalur terpendek dan paling aman (tidak menumbuk halangan) dengan memanfaatkan beberapa via point yang diberikan secara acak diluar area halangan (obstacle).

Hasil akhir dari algoritma tersebut adalah berupa jalur dengan jarak terpendek dan teraman. Hasil cGA juga dibandingkan dengan algoritma konvensional yang lainnya yaitu GA. Hasil perbandingan dievaluasi dengan menggunakan parameter kemampuan menghindari halangan, jarak terpendek dan waktu komputasi algoritma, diperoleh sebagai berikut : cGA mampu menghindari halangan sebesar 83,3%, sedangkan GA sebesar 74,9%. Jarak tempuh terpendek cGA sebesar 307 pixel, sedangkan GA sebesar 309 pixel, yang terjadi pada saat tanpa penghalang. Waktu komputasi cGA cenderung tetap yaitu sekitar 3,8 ms, sedangkan GA antara 2,66 ms hingga 3018 ms.

Sehingga dari tiga parameter keberhasilan perencanaan dan pembentukan jalur dengan algoritma cGA, yaitu : waktu komputasi algoritma, jarak tempuh dan kemampuan menghindari halangan, maka cGA dapat dijadikan sebagai alternatif pilihan yang tepat jika diinginkan pemrosesan dilakukan secara online.

**Kata kunci :** *Mobile Robot, Algoritma Genetika Kompak (cGA), halangan, via point, jalur terpendek dan teraman*

## 1. PENDAHULUAN

Sistem navigasi pada sebuah kendaraan saat ini memegang peranan yang sangat penting agar kendaraan dapat dikendalikan sesuai dengan jalur yang paling optimal, yaitu paling aman dan paling pendek, dimana jalur yang aman mutlak diperlukan agar kendaraan tidak mengalami tabrakan baik dengan kendaraan atau penghalang lain. Sedangkan jarak yang paling pendek, memiliki korelasi dengan pemakaian bahan bakar yang saat ini semakin mahal. Mungkin untuk beberapa jenis kendaraan seperti mobil atau motor, hal ini tidak begitu penting. Tetapi untuk kendaraan seperti pesawat terbang dan kapal laut, sebuah system navigasi yang handal sangat mutlak diperlukan untuk membantu kerja awakannya. Yang menjadi persoalan dari jenis kendaraan tersebut adalah bagaimana memilih mana dari sekian banyak solusi perjalanan yang paling optimal. Dan seringkali pula sang awak tidak memiliki keyakinan untuk menentukan pilihan tersebut, bahwa pilihan itu adalah yang paling baik, dalam hal ini paling optimal hasilnya. Jika permasalahan pada kendaraan dengan awak diatas diaplikasikan pada sebuah kendaraan tanpa awak, maka hal ini akan menjadi sangat menarik untuk dipertimbangkan.

Berangkat dari permasalahan sederhana seperti ini, dapat dikembangkan permasalahan baru bahwa bagaimana jika permasalahan diatas diaplikasikan pada sebuah mobile robot dimana halangan-halangan yang ada merupakan obyek yang dapat dipindahkan secara dinamis. Permasalahan yang kompleks akan muncul karena sebuah mobile robot perlu selalu dibuatkan jalur teraman dan terpendek serta sekaligus dikendalikan apakah jalur yang dilewati telah sesuai jalur yang diinginkan atau tidak.

Beberapa teori, metode dan aplikasi telah dikembangkan untuk membantu mengatasi permasalahan tersebut, diantaranya adalah Gihan Nagib dan W. Gharieb [1], menyajikan algoritma baru untuk path planning global mencapai tujuan untuk sebuah mobil robot menggunakan Algoritma Genetika (GA). Algoritma Genetika digunakan untuk menemukan jalur yang paling optimal untuk mobil robot agar dapat bergerak pada lingkungan statis yang dinyatakan oleh

peta dengan titik dan penghubung. Lokasi target dan obstacle diberikan dalam sebuah bidang kerja 2 dimensi. Setiap titik dalam jaringan adalah gen yang dinyatakan dalam kode biner. Jumlah gen dalam satu kromosom adalah fungsi dari jumlah obstacle dalam peta. Dalam teknik ini, digunakan kromosom dengan panjang tetap. Pembangkitan jalur robot adalah optimal dalam hal jarak terpendek. Robot bergerak dari titik awal ke target dengan asumsi bahwa robot hanya melewati setiap titik sekali atau tidak semuanya. Hasil yang didapatkan dalam simulasi menunjukkan potensi hasil yang diharapkan sehingga algoritma yang diajukan adalah layak untuk diterima.

Seiring dengan semakin kompleksnya permasalahan yang harus dihadapi sebuah mobil robot dalam lingkungan dinamis, maka Boris Baginski [2], menghasilkan sebuah metode baru untuk merencanakan jalur bebas tumbukan untuk robot dengan beberapa derajat kebebasan pada lingkungan dinamis. Metode ini menjadi sangat efisien jika digunakan pada daerah pencarian dengan dimensi tinggi. Kompleksitasnya linier terhadap jumlah derajat kebebasan. Pra proses dari data geometri robot atau lingkungan tidak diperlukan. Dengan waktu sebagai dimensi tambahan dari daerah pencarian, memungkinkan metode ini untuk digunakan dalam lingkungan dinamis yang diketahui atau untuk pembagian kerja banyak robot pada satu pekerjaan. Adapun cara kerja dari metode  $Z^3$  ini adalah dengan mendefinisikan banyak sub-tujuan local secara acak sebagai perencanaan langsung. Setiap sub-tujuan akan dicari kemungkinan yang dapat dihubungkan ke sub-tujuan berikutnya hingga akhirnya dapat menghubungkan lokasi awal sampai lokasi tujuan yang sebenarnya.

Permasalahan lingkungan dinamis tampaknya menjadi semakin menarik, terbukti dengan hadirnya beberapa metode lain seperti yang dikemukakan oleh Jacky Baltes, Nicholas Hildreth [3], dimana mereka mendeskripsikan perencanaan jalur yang adaptif, sebuah pendekatan baru (novel approach) untuk perencanaan jalur sebuah mobil robot menyerupai kendaraan. Menciptakan rencana baru dari perubahan lingkungan yang terjadi pada rencana saat ini, perencanaan jalur adaptif mampu mengadaptasikan rencana lama pada situasi yang baru. Makalah ini mengajukan penyajian yang efisien untuk jalur yang mampu beradaptasi. Isi dari perencanaan jalur ini adalah strategi perbaikan. Strategi perbaikan adalah metode local untuk menetapkan rencana untuk mengkompensasi pergerakan obyek dalam area. Strategi perbaikan secara spesifik memiliki kemungkinan yang tinggi untuk mampu menetapkan rencana. Evaluasi empiris menunjukkan bahwa perencanaan jalur adaptif sesuai untuk area dengan tingkat dinamis yang tinggi, seperti RoboCup. Perencanaan jalur adaptif ini mampu mengurangi waktu perencanaan kumulatif sebesar 2:7 kali lebih cepat dibandingkan perencanaan Bicchi. Dan pada waktu yang

sama, kualitas rencana yang dibangkitkan sama dengan perencanaan Bicchi.

Frank Lingelbach [4], dalam tesisnya menyajikan metode perencanaan jalur baru diberi nama Probabilistic Cell Decomposition (PCD). Pendekatan ini mengkombinasikan metode underlying dari dekomposisi sel dengan konsep sampling kemungkinan. Dekomposisi sel secara iterasi diperbaiki sampai jalur bebas tumbukan ditemukan. Dalam setiap langkah dekomposisi sel saat ini digunakan sebagai bantuan sampling kemungkinan pada area yang penting. Dasar dari algoritma PCD dapat didekomposisi menjadi sejumlah komponen seperti pencarian grafik, pemecahan sel dan sampling kemungkinan. Untuk setiap komponen, pendekatan berbeda dijelaskan. Performa dari PCD selanjutnya di tes pada satu set problem. Hasilnya telah dibandingkan dengan metode perencanaan jalur yang menggunakan kemungkinan, bernama Rapidly-exploring Random Trees. Hasil menunjukkan bahwa PCD secara efisien mampu menyelesaikan berbagai masalah perencanaan jalur.

Dennis Nieuwenhuisen [5], dalam tesisnya juga menjelaskan tentang lingkungan dinamis. Algoritma navigasi mereka berbasis pada metode PRM. Pada makalah ini, diajukan variasi dari metode ini yang berbasis pada perencanaan jalur untuk lingkungan yang dapat berubah-ubah. Untuk mengecek bebas tumbukan, PRM roadmap selalu tidak berulang. Sebagai hasilnya hanya ada satu konfigurasi jalur saja berbeda dengan lainnya. Jika jalur diblok oleh obstacle yang bergerak, metode berakhir dengan gagal. Penambahan batasan tambahan (kemudian membuat perulangan) kelihatan sebagai solusi yang lebih baik, tetapi secara komputasi sangat berat. Diperlukan pemilihan batas secara hati-hati dan hanya dengan menambahkan batas tersebut yang akan memberikan kontribusi untuk membuat roadmap lebih handal terhadap jalur menjadi lebih pendek karena robot memiliki pilihan antara beberapa rute alternatif. Algoritma ini mampu menciptakan roadmap yang hanya mengandung perulangan yang berguna sehingga hanya sedikit menaikkan waktu running. Perulangan yang berguna adalah perulangan yang memiliki kemungkinan besar untuk memberikan kontribusi untuk menciptakan jalur alternatif. Percobaan menunjukkan bahwa roadmap lebih handal terhadap perubahan penempatan obstacle dibandingkan roadmap tanpa perulangan yang berguna. Disini juga ditunjukkan sebuah batas panjang jalur dibandingkan dengan teori optimasi jalur yang lain.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penerapan Algoritma Genetika Dalam Permasalahan Optimasi Jalur

Gihan Nagib, dkk [1] menyatakan bahwa Algoritma Genetika (GA) adalah teknik pencarian global dan optimasi dari seleksi natural, genetik dan evolusi. Simulasi GA menggunakan coding dan operator khusus. Algoritma Genetika mempertahankan populasi

dari kandidat solusi, dimana setiap kandidat solusi dikodekan dalam biner disebut sebagai kromosom. Satu set kromosom sebuah populasi, dievaluasi dan diranking oleh fungsi evaluasi fitness, dimana fungsi evaluasi fitness memainkan peranan yang penting dalam GA karena fungsi ini merupakan informasi sebaik apa masing-masing kandidat. Populasi awal biasanya dibangkitkan secara acak. Evolusi dari satu generasi ke generasi berikutnya melalui 3 langkah utama : evaluasi fitness, seleksi dan reproduksi.

Secara umum, terdapat tiga perbedaan tujuan optimasi yang dapat didesain untuk menemukan jalur optimal bebas tumbukan :

1. meminimumkan jarak jalur (shortest path)
2. menghaluskan lintasan (smooth trajectory)
3. mencari daerah kosong (the robot should not approach the obstacles too closely)

## 2.2 Compact Genetic Algorithm (cGA)

Georges R. Harik, dkk [6], dalam papernya memperkenalkan Compact Genetic Algorithm (cGA) yang menyatakan populasi sebagai distribusi probabilitas terhadap satu set solusi dan secara operasional sama dengan GA sederhana orde satu dengan crossover seragam. cGA memproses setiap gen secara independen dan memerlukan lebih sedikit memory daripada GA sederhana. Dalam papernya, Harik dkk menganalisa pertumbuhan gen khusus dalam populasi random walk satu dimensi. Pada progress GA, gen-gen akan bertarung dengan pesaingnya dan jumlah mereka di populasi dapat bertambah atau berkurang tergantung pada GA membuat keputusan yang baik atau jelek. Keputusan ini dibuat oleh GA secara implisit pada proses seleksi. Pada proses seleksi tidak selamanya hasil yang didapatkan selalu lebih baik, ini karena gen selalu dievaluasi dalam konteks sebagai individual terbesar. Dengan menggunakan skema yang sama dengan steady state binary tournament, proporsi dari pemenang akan ditambah sebesar  $\frac{1}{n}$  dan yang

kalah, akan dikurangi sebesar  $\frac{1}{n}$  juga. Sehingga proporsi probabilitas terbesar yang akan keluar sebagai pemenang.

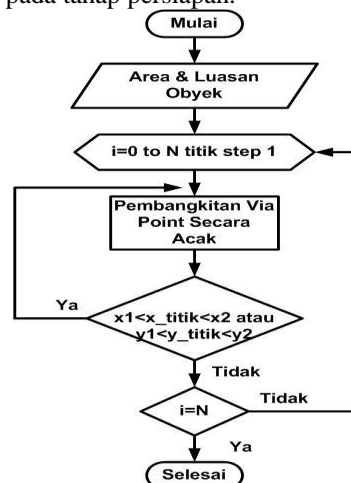
## 3. METODE PENELITIAN

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pembuatan simulasi yang telah dibuat :

### PERSIAPAN

Pada tahap persiapan ini, digunakan untuk menentukan titik-titik bantu / via point yang akan digunakan sebagai titik bantuan jalur yang akan menghubungkan titik start dan titik finish. Sebelum titik-titik dibangkitkan, terlebih dahulu area, posisi inisial robot, posisi akhir dan obyek penghalang ditentukan secara manual. Kemudian setelah posisi obyek penghalang diketahui beserta luasannya, maka dibangkitkan titik-titik bantu /

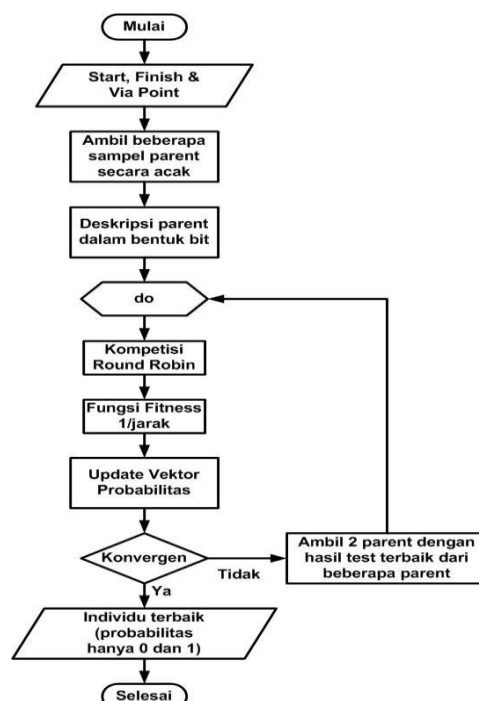
via point tersebut. Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir proses pada tahap persiapan.



Gambar 3.1 Diagram alir proses pada tahap persiapan

### PENCARIAN JALUR MENGGUNAKAN cGA

Setelah semua titik bantu diperoleh, maka langkah selanjutnya adalah mencari solusi terbaik dari beberapa kandidat jalur yang dibentuk dari proses pengacakan hubungan antar titik bantu, dengan parameter jarak terpendek dan jalur teraman. Gambar 3.2 menunjukkan proses pencarian jalur paling optimal dengan menggunakan metode Compact Genetic Algorithm (cGA).



Gambar 3.2 Proses pencarian jalur paling optimal dengan menggunakan metode Compact Genetic Algorithm (cGA)

Dapat dijelaskan disini bahwa proses pencarian dengan menggunakan metode cGA mengikuti langkah-langkah dalam pseudo-code berikut :

- 1) Inisialisasi vector probabilitas  
untuk  $i = 1$  sampai  $l$  lakukan  $p[i] = 0.5$
- 2) Bangkitkan  $M$  individu dari vector  
 $M(j) = \text{bangkitkan}(p[i])$
- 3) Kompetisikan menggunakan metode round robin  
Untuk  $j=1$  sampai  $J$  lakukan  
Untuk  $k=j+1$  sampai  $K$  lakukan  
mulai  
 $\text{pemenang, pecundang} = \text{kompetisi}(M(j), M(k))$   
Update vector probabilitas hingga  
mendapatkan satu terbaik  
untuk  $i = 1$  sampai  $l$  lakukan  
jika  $\text{pemenang}[i] \neq \text{pecundang}[i]$  maka  
jika  $\text{pemenang}[i] = 1$  maka  
$$p[i] = p[i] + \frac{1}{n}$$
  
jika tidak  
$$p[i] = p[i] - \frac{1}{n}$$
  
Cek jika vector telah konvergen  
untuk  $I = 1$  sampai  $l$  lakukan  
jika  $p[i] > 0$  dan  $p[i] < 1$ , maka  
kembali ke langkah 2  
 $p$  menyatakan solusi akhir  
selesai

parameter cGA :

$n$  = jumlah populasi

$l$  = panjang kromosom

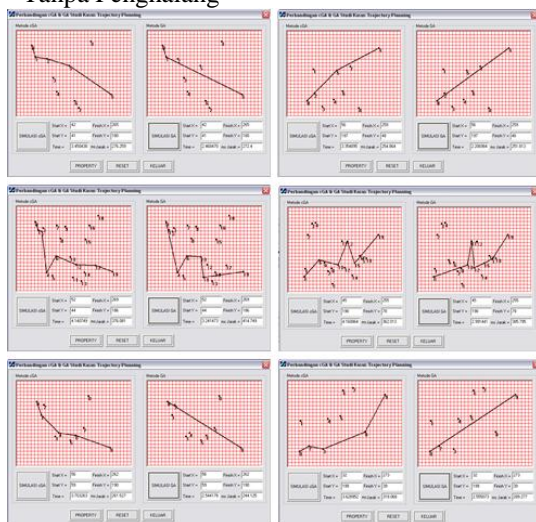
$J = K$  = jumlah individu

$M(i)$  = individu ke- $i$

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian metode cGA yang digunakan dalam perencanaan dan pembentukan jalur akan dibandingkan dengan metode GA untuk mengetahui tingkat kehandalan dari sistem yang telah dibuat. Pengujian dilakukan terhadap beberapa model jumlah penghalang dan kombinasi jumlah kromosom dan gen.

##### 1. Tanpa Penghalang

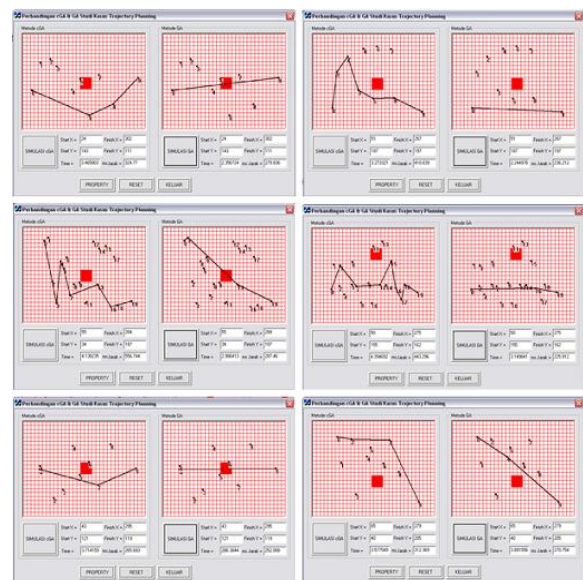


Gambar 4.27 Pengujian perbandingan metode cGA dan GA tanpa penghalang

Tabel 4.6 Perbandingan Metode cGA dan GA Untuk Tanpa Penghalang

Jumlah Kromosom	Jumlah Gen	No Pengujian	cGA			GA		
			Waktu (ms)	Jarak (pixel)	Avoid	Waktu (ms)	Jarak (pixel)	Avoid
10	10	1	3.45	276	✓	2.46	272	✓
		2	3.35	254	✓	2.2	251	✓
10	20	1	4.1	376	✓	3.2	414	✓
		2	4	362	✓	2.99	385	✓
20	10	1	3.7	261	✓	2.54	244	✓
		2	3.6	318	✓	2.55	289	✓
Rata-Rata Pengujian			3.7	307.833	100 %	2.66	309.166	100 %

##### 2. Dengan Satu Penghalang



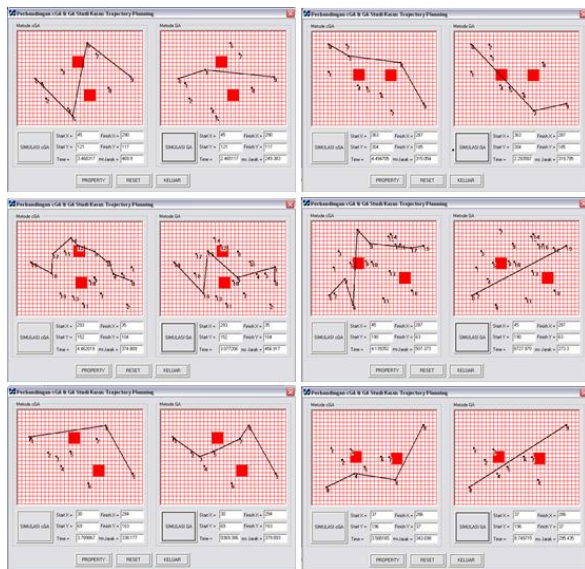
Gambar 4.28 Pengujian perbandingan metode cGA dan GA dengan 1 penghalang

Tabel 4.7 Perbandingan Metode cGA dan GA Untuk 1 Penghalang

Jumlah Kromosom	Jumlah Gen	No Pengujian	cGA			GA		
			Waktu (ms)	Jarak (pixel)	Avoid	Waktu (ms)	Jarak (pixel)	Avoid
10	10	1	3.46	324	√	2.35	279	X
		2	3.27	410	√	2.44	236	√
10	20	1	4.13	556	√	2.98	287	X
		2	4.39	443	√	3.14	225	√
20	10	1	3.71	265	√	286.38	252	X
		2	3.57	312	√	3.89	270	√
Rata-Rata Pengujian			3.755	385	100 %	50.196	258.167	50%



### 3. Dengan Dua Penghalang



Gambar 4.29 Pengujian perbandingan metode cGA dan GA dengan 2 penghalang

Tabel 4.8 Perbandingan Metode cGA dan GA Untuk 2 Penghalang

Jumlah Kromosom	Jumlah Gen	No Pengujian	cGA			GA		
			Waktu (ms)	Jarak (pixel)	Avoid	Waktu (ms)	Jarak (pixel)	Avoid
10	10	1	3.46	469	X	2.46	249	√
		2	4.49	315	√	2.29	319	X
10	20	1	4.46	374	X	3.07	456	√
		2	4.13	507	X	872 7.97	273	√
20	10	1	3.78	338	√	936 9.38	379	√
		2	3.58	343	√	8.75	295	√
Rata-Rata Pengujian			3.98	391	50%	301 8.98	328. 5	83.3 %

### 4. Dengan Tiga Penghalang



Gambar 4.30 Pengujian perbandingan metode cGA dan GA dengan 3 penghalang

Tabel 4.9 Perbandingan Metode cGA dan GA Untuk 3 Penghalang

Jumlah Kromosom	Jumlah Gen	No Pengujian	cGA			GA		
			Waktu (ms)	Jarak (pixel)	Avoid	Waktu (ms)	Jarak (pixel)	Avoid
10	10	1	3.33	301	√	2.61	384	X
		2	3.42	371	√	7.77	370	√
10	20	1	4.29	466	√	24.13	522	√
		2	4.04	442	√	3.01	403	√
20	10	1	3.56	352	√	4814.73	275	X
		2	3.45	342	X	151.98	298	√
Rata-Rata Pengujian			3.68	379	83.3 %	834.03	375.33	66.3 %

#### Pembahasan :

- Berdasarkan hasil pengujian perbandingan metode cGA dengan GA untuk studi kasus trajectory planning, maka dapat dianalisa bahwa pada saat kondisi tanpa penghalang, kedua metode menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda, dimana keduanya mampu menghubungkan titik asal ke titik tujuan dengan sempurna 100%, dengan catatan jarak yang hampir sama, yaitu 307 pixel untuk cGA dan 309 pixel untuk GA, untuk catatan waktu, hasil terbaik masih diraih oleh GA dengan 2.66 ms dibandingkan 3.7 ms untuk cGA.
- Berdasarkan hasil pengujian perbandingan metode cGA dengan GA untuk studi kasus trajectory planning, maka dapat dianalisa bahwa pada saat kondisi dengan satu penghalang, kedua metode menunjukkan hasil yang jauh berbeda, dimana cGA mampu menghubungkan titik asal ke titik

tujuan dengan sempurna 100% menghindari halangan dan GA hanya mampu sebesar 50% artinya dari 6 kali percobaan GA mengalami kegagalan (menumbuk penghalang) sebanyak 3 kali, dengan catatan jarak yang jauh berbeda, yaitu 258 pixel untuk GA dan 385 pixel untuk cGA, untuk catatan waktu, hasil terbaik masih diraih oleh cGA dengan 3.75 ms dibandingkan 258.16 ms untuk GA.

3. Berdasarkan hasil pengujian perbandingan metode cGA dengan GA untuk studi kasus trajectory planning, maka dapat dianalisa bahwa pada saat kondisi dengan dua penghalang, kedua metode menunjukkan hasil yang jauh berbeda, dimana cGA mengalami kemerosotan untuk menghubungkan titik asal ke titik tujuan dengan keberhasilan hanya 50% menghindari halangan artinya dari 6 kali percobaan cGA hanya mengalami 3 kali kegagalan (menumbuk penghalang) dan GA mampu sebesar 83.3% artinya dari 6 kali percobaan GA hanya mengalami 1 kali kegagalan (menumbuk penghalang), dengan catatan jarak yang jauh berbeda, yaitu 328.5 pixel untuk GA dan 391 pixel untuk cGA, untuk catatan waktu, hasil terbaik masih diraih oleh cGA dengan 3.98 ms dibandingkan 3018.98 ms untuk GA.
4. Berdasarkan hasil pengujian perbandingan metode cGA dengan GA untuk studi kasus trajectory planning, maka dapat dianalisa bahwa pada saat kondisi dengan tiga penghalang, kedua metode menunjukkan hasil yang jauh berbeda, dimana cGA mengalami kenaikan lagi untuk menghubungkan titik asal ke titik tujuan dengan keberhasilan sekitar 83.8% menghindari halangan artinya dari 6 kali percobaan cGA hanya mengalami 1 kali kegagalan (menumbuk penghalang) dan GA mampu sebesar 66.3% artinya dari 6 kali percobaan GA mengalami 2 kali kegagalan (menumbuk penghalang), dengan catatan jarak yang tidak jauh berbeda, yaitu 375 pixel untuk GA dan 379 pixel untuk cGA, untuk catatan waktu, hasil terbaik masih diraih oleh cGA dengan 3.68 ms dibandingkan 834.03 ms untuk GA.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pada data-data percobaan diatas, maka dapat dikatakan bahwa metode cGA memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan GA dalam hal catatan waktu komputasi algoritma dengan rata-rata catatan waktu 3.8 ms (hampir konstan) untuk berbagai kondisi, sedangkan GA sangat tergantung pada jumlah iterasi untuk mencapai generasi terbaiknya. Dari sisi kemampuan menghindari halangan, cGA juga unggul di tiga kondisi, yaitu tanpa halangan, satu halangan dan tiga halangan. Dan yang terakhir dari sisi catatan jarak yang dihasilkan, dapat dikatakan bahwa cGA memiliki catatan jarak yang cukup kompetitif terhadap GA. Sehingga dari tiga parameter keberhasilan perencanaan dan pembentukan jalur dengan algoritma cGA, yaitu : waktu komputasi algoritma, jarak tempuh dan kemampuan menghindari halangan, maka cGA dapat dijadikan sebagai alternatif pilihan yang tepat jika diinginkan pemrosesan dilakukan secara online.

## 6. REFERENSI

- [1] Gihan Nagib and W. Gharieb, "Path Planning For A Mobile Robot Using Genetic Algorithm", Electrical Engineering Dept., Faculty of Engineering Cairo University - Fayoum Branch.
- [2] Boris Baginski, "The Z<sup>3</sup>-Method For Fast Path Planning In Dynamic Environments", In Proceedings of IASTED Conference Applications of Control and Robotics 1996
- [3] Jacky Baltes, Nicholas Hildreth, "Adaptive Path Planner for Highly Dynamic Environments", *RoboCup-2000: Robot Soccer World Cup IV*, pages 76-85. Springer Verlag, Berlin, 2001
- [4] Frank Lingelbach, "Path Planning Using Probabilistic Cell Decomposition", Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation 2005
- [5] Dennis Nieuwenhuisen, "Path Planning in Changeable Environments", Thesis, 2007
- [6] Georges R. Harik, Fernando G. Lobo, David E. Goldberg, "The Compact Genetic Algorithm", IEEE Transactions On Evolutionary Computations, Vol. 3, No. 4, November 1999